保全活動への Industrial IoT 適用

Application of the IIoT to Equipment Maintenance

米澤 正明 *1
Masaaki Yonezawa

先進国では，プラント設備の老朽化や環境対策への要求の高まりにより，保全の CBM（Condition Based Maintenance）化が求められている。しかし，設備の状態把握は，現場のベテランなど人に依存しており，技能伝承問題などが CBM 化を阻んでいる。本稿は，横河電機の活動領域であるプラント操業と保全に対して，IIoT（Industrial Internet of Things）と AI がどのような役割を果たすかについて述べる。さらに，IIoT と AI を活用し CBM 化を推進するコンセプトをもつ Sushi Sensor の機能と，それを実現するための各種技術との関連を解説する。

As an increasing number of plant facilities are aging and with growing demand for environmental protection, condition-based maintenance (CBM) is needed in developed countries. However, identifying and managing the state of facilities depends largely on skilled field workers, and it is difficult to transfer their know-how to the next generation, hindering the widespread use of CBM. Yokogawa Electric Corporation has long been involved in plant operation and equipment maintenance, and is now planning to use the Industrial Internet of Things (IIoT) and artificial intelligence (AI) in these areas in order to promote CBM. Yokogawa's Sushi Sensor is a product based on this concept. This paper describes the functions and various technologies behind Sushi Sensor.

1. はじめに

AI と IoT（Internet of Things）は各種メディアで毎日のように取り上げられるほど一般的となってきた。一方で，実際にそれらが果たす役割については，過度な期待もあり夢物語のように語られることが多い。

横河電機は，長年プラント操業の分野で，生産の効率化や安全の確保に貢献してきた。この領域で求められることは高精度，高信頼データに基づく運転状態監視や危機回避である。この要求に対して，横河電機は ISA100 無線を採用したフィールド無線製品群を用意し，プラント操業の効率の最大化と安全確保に貢献してきた。

近年，産業界を取り巻く環境の変化に応じて，プラントにおいても保全作業効率の向上や環境問題への対応策が求められるようになっている。ここでの要求は，多数の測定箇所から得られる時系列データを基にし，設備状態の傾向分析を行い，適切な保全作業をタイムリーに実施することである。本稿では，AI と IoT がこの要求に対してどのような役割を果たすことができるかについて述べる。ここでは対象となる領域をプラントとするため，IoT については産業用 IoT（Industrial Internet of Things: IIoT）にフォーカスして説明する。

*1 IA プロダクト＆サービス事業本部 新分野開発センター
新ビジネス開発部

2. 保全活動への IIoT 適用

2.1 AI と IIoT

AI は Artificial Intelligence の略で，日本語では人工知能と呼ばれる。一般社団法人人工知能学会の解説 (1) では，「知的な機械，特に，知的なコンピュータプログラムを作る科学と技術」としている。1950 年代から AI の研究が始まり，1970 年代までにその成果の一つとしてエキスパートシステムが発表された。しかし，比較的単純な問題であれば容易に答えを出せるが，現実世界で直面するような複雑な問題を解くには力不足であることが明らかになった (2)。

最近の人工知能ブームは，「ディープラーニング」に代表される機械学習が実用化されることにより，現実世界の難問を解くことができるようになるのではないか，との期待が原動力となっている。以前の機械学習は，知識の特徴を示すデータのセット（特徴量）は人間が指定する必要があるなど，人間の経験則をある程度埋め込む必要があり，人間のサポートツールという位置づけだったといえる。しかし，近年のディープラーニング等の手法は，コンピュータプログラムが自ら知識を獲得するものであり，その結果，例えば囲碁の対戦 AI は人間を越える性能を発揮できるまでになった (3)。

一方，IoT とは，あらゆるモノがインターネットに接続されることである。産業用途の IoT である IIoT に注目

が集まるのは，インフラの老朽化に伴う設備の状態把握などの要求に対して，IIoT による解決が期待されるからである [4]。

2.2 産業界が抱える問題

日本をはじめ，多くの工業先進国においては，プラントの建設から 40 年以上が経過し，設備の老朽化が著しく進んできた。我が国においては，現場で活躍していたベテラン技能者の引退に伴う技能伝承問題（2007 年問題）が現実のものとなり，そこから既に 10 年以上が経過した。海外では，急速な工業化とともに多くのプラントが建設されているが，作業員の育成が間に合わず，技能レベルが不十分であるという問題が起きている。

さらに，周囲の環境に配慮したプラント操業が，世界共通の課題となってきている。

2.3 問題解決の方向性

老朽化設備の延命を図ることは，プラント運営におけるコスト上のメリットだけでなく，スクラップ・アンド・ビルドを行わないことで環境負荷を低減する効果がある。そのためには，設備の状態を的確に把握し，その状態に応じて適切な保守を行う必要がある。このような保全方式を CBM（Condition Based Maintenance）と呼ぶ(**表 1**)。

環境対策を行うことは社会的責任を果たすことでもある。BDM（Breakdown Maintenance）による保全は，有害物質の飛散・漏えいなどの可能性があり，環境問題を起こすリスクがある。一方，TBM（Time Based Maintenance）による保全では，保守作業の必要がない設備も対象となるため保全コストの増大が見込まれる。環境対策の面からも CBM 化することが望ましい。

以上のように，プラント設備の CBM 化は世界中で喫緊の課題であるが，現実には広く実施されるには至っていない。その理由について次節で説明する。

表 1 保全方式の比較

保全方式	説明
BDM	Breakdown Maintenance 機器が故障した時点で保守を行う。
TBM	Time Based Maintenance 予め規定された期間ごとに定期的に保守を行う。
CBM	Condition Based Maintenance 設備の劣化状態を把握しその状態に適した保守を行う。

2.4 CBM 化を阻む要因

CBM 化を推進するためには，現場で得られた情報を再活用する仕組みが必要である。しかし，従来の保全作業は，オフライン・手書き作業に頼る場面が多かった。巡回目視の結果は手書きで記録されデジタル化されておらず，転記に伴う欠落や誤りの可能性がある。ハンディ型装置によるオフライン測定の結果はデジタルデータであるが，集中管理しなければ共有できない。現場で集めたデータを集中管理して共有した後に長期の傾向分析を行えば，設備の状態把握ができる可能性が高い。

また，現場での測定や目視の結果から設備の状態を判断するノウハウが，現場のベテランなど個人の技量に依存している場合も多い。CBM 化には客観的かつ均質な判断基準が求められるが，現在はその基準がまだ確立されていない。

これは，設備の「状態」を示す物理量が単純ではないという現実に起因する。例えば，温度や圧力の測定結果は「値」であるから，判断基準は閾値として決めることができる。一方，回転機器の状態判断にしばしば使われる振動はどうだろうか。

振動は周波数スペクトラムとしてデータ化される。各スペクトラムの周波数，振幅，スペクトラムの分布等，どこに注目すれば判断基準となるのか，単純には示すことができない（**図 1**）。熟練者は，先ず数百 Hz 以下の領域に注目して軸の芯ずれの有無を判定し，次に 1 kHz 以上の領域に注目してベアリング異常の兆候を探す，といった判断の技法を身に着けている。この判断は個人の技量に依存しており，熟練者のこうした技量を「神の目」や「匠の技」といった定性的な能力として扱ってきた。

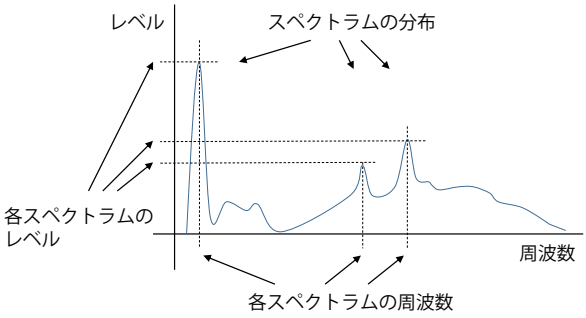

図 1 振動スペクトラムの例

以上のことをまとめると，CBM 化を阻む要因は次の二つに集約される。

- データが再利用できる形で管理されていない。
- 設備の状態把握の手法が人に依存しており，技能伝承や教育の問題がこれを助長している。

2.5 CBM 化の推進

本稿の冒頭に挙げた IIoT と AI を保全用途へ適用することを念頭に，CBM 化を推進する方策を整理する。

IIoT は，製造の現場における設備や装置に関わる情報が，人手を介さずにインターネットを通じ電子データとして交換されることであると捉えることができる。AI は，人間がノウハウとして身につけた状態把握の判断基準を，

コンピュータ上で実現することと言える。

これらの最新の技術をもって CBM 化を推進する方策については，次のように考えることができる。

(1) 設備の状態を自動的に測定する。デジタル化された測定データを集約し継続的に記録する。これに，IIoT の手法を採用する。

(2) データ変化を分析することで，設備劣化の傾向を客観的に判断し対策を提示する。これに，AI を活用する。

これらを実現するために開発された，Sushi Sensor を使った CBM ソリューションについて説明する。Sushi Sensor は IIoT 向けの小型無線センサで，従来は巡回点検の対象だった設備に取り付けられ，測定データは集中管理され継続的に記録，解析される。今回，その最初の製品として，設備の振動と表面温度を測定する Sushi Sensor XS770A を発売した。

ここで指摘しておきたいことは，一般の IoT における “T” と，IIoT における “T” では状況が異なることである。どちらも “T” は，Things ＝モノを示すが，“IoT” の対象となる一般生活においては，家電などの民生用機器が想定される。一方，“IIoT” の対象となる産業界においては，工場のモータやバルブ，貯蔵タンクなどの産業用機器が想定される。これら産業用機器としての “T” ＝ Things は，民生用機器に比べはるかに厳しい環境に置かれる。IIoT を実現するためのセンサには，極寒，灼熱（しゃく）というような過酷な環境，また腐食性ガスや可燃性ガスが存在するような環境にあっても，正しく測定して通信できることが要求される。

IoT または IIoT 向けとして世の中に発表されているセンサは数多くあるが，その耐環境性に着目すると，屋外の過酷な環境に耐える仕様であっても，ガス環境を想定しない農地用であるなど，これらのセンサはプラント環境下で使用するためには十分な性能とは言えない（**表 2**）。

表 2 Sushi Sensor と他社センサの比較

製品	測定対象	適用分野	耐環境性		通信方式
			防水（IP66/IP67）	防爆	
Sushi Sensor	振動／温度	設備保全	○	（対応予定）	LoRaWAN
A	土壌水分	農業	○（規格不明）	―	LoRaWAN
B	温湿度 CO_2 他	ホーム	―	―	LoRaWAN
C	温度他	机上実験	（筐体なし）		LTE

（2018 年 6 月現在 当社調べ）

2.6 横河電機が提供する技術

IIoT 向けの小型無線センサ Sushi Sensor を実現するための技術の詳細については，本特集の各論文を参照していただきたい。特筆すべきは，横河電機が提供する技術は，現場環境で測定するセンサ技術，省電力通信技術，クラウド技術，および機械学習による解析技術までを網羅している点である。センサから機械学習による解析までをシームレスに提供することで，IIoT を活用したプラントへの CBM 適用を速やかに実現できる。

各論文で紹介している要素技術は次の通りである。

- ハードウェア
  耐環境性，一体化構造でのセンシング，省電力化
- ソフトウェア
  ユーザインタフェース，省電力化
- ネットワーク（無線）
  小電力による長距離通信，公衆インフラ
- クラウド環境
- 機械学習

今回開発した Sushi Sensor XS770A の測定項目は，傾向監視を目的として，設備の振動の速度，加速度および表面温度とした。これらの測定項目は解析が容易で，データ量が少ないものである。また，Sushi Sensor を簡単に設置できるように，電池，センサ，アンテナを含めて一体化した。測定対象物の振動と取り付け部の温度をセンサ部に伝えるため，測定対象と接触する部分は金属にする必要がある。一方，内部にアンテナを格納するため，ケースは電波が透過する樹脂で作成する必要がある。これらの二つの要求を両立させるために 2 種類の材料を使い分けた。センサなどを一体化することで質量が大きくなれば，振動測定に大きな影響を与える共振周波数が低くなり，測定範囲が狭くなる。今回開発した Sushi Sensor では，測定周波数範囲を保証するため，内部部品の保持方法に工夫を施した。また，内部ソフトウェアによる補正処理を行った。

保全分野に本製品を適用する場合，センサ設置対象となる機器数は非常に多くなる。センサへの給電ライン数を考慮するとバッテリ駆動は必須となるが，電池交換の頻度を減らすためには，省電力化により電池寿命を延ばすことが求められる。そこで，通常の使用条件において，電池寿命を定期修繕の周期よりも長くすることを設計目標とした。この設計目標を実現するために，機能ブロック毎に省電力設計を行い，ユーザインタフェース機能は消費電力の小さな NFC（近距離無線通信）を通じスマートフォン画面で実現することとした。これにより，表示装置を搭載した場合に比べ消費電力を削減した。

スマートフォンと Sushi Sensor との通信は NFC を使用する。測定データをクラウドへ伝えるためには，LoRaWAN と呼ばれる長距離用の無線通信を使用する。小型のケース内に NFC 用のアンテナと LoRaWAN 用のアンテナを共存させることは，小型一体型のセンサを実現する上で鍵となる開発項目であった。

Sushi Sensor には簡単導入，簡単運用に対応する機能が要求される。これはセキュリティの確保と相反する要求となり得る。例えば，近隣に設置された同一規格の通信装置を通じたデータの漏えいなどが懸念されるが，スマートフォンやクラウドと連携することで安全な仕組み

を実現した。Sushi Sensor とゲートウェイとの間の無線通信は，各システム固有の暗号化キーを使用することでセキュリティを確保している。ネットワーク経由で暗号化キーを取得する場合は，暗号化とパスワード認証により保護している。ネットワーク経由での暗号化キー取得が許容されない場合には，NFC 規格のセキュリティで保護された NFC カードを使用して暗号化キーを取得している。また，スマートフォンに一旦保持された暗号化キーの保持時間を制限するなど，独自の仕組みも取り入れた。

簡単導入，簡単運用に要求される機能の例として，現場に設置された Sushi Sensor を交換する場合に，設定情報を交換前の機器から交換後の機器に簡単に引き継ぐ機能が挙げられる。Sushi Sensor では，設定情報を NFC 機能部の不揮発性メモリに格納することにより，交換前の機器の電池が消耗した状態でも設定情報をスマートフォンで読み出し，交換後の機器に設定できる機能を実現した。また，測定データを分析し共有するためにクラウド環境と機械学習を活用した。機械学習により，データ変動の特徴から測定対象の通常とは異なる振る舞いを検出し，故障を予測できる可能性を示した [5]。

2.7 今後の展開

本稿で紹介した技術の応用と今後の展開について説明する。まず本技術の応用として，データの分析判定に使われる情報領域の拡大が考えられる。初期においては，過去のデータから設備の故障発生までの期間を予測する目的で，AI 機械学習 1 を導入する（**図 2**）。

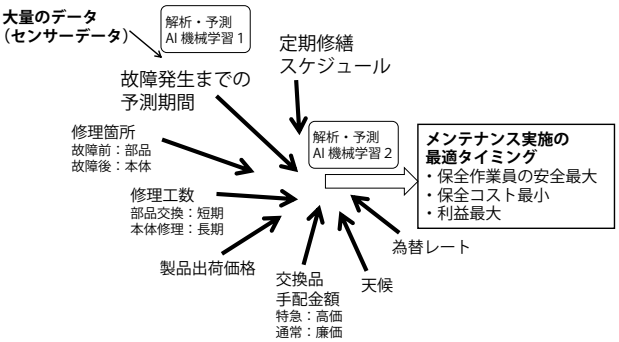

図 2 AI 適用領域の拡大

さらに，例えば短納期の場合と通常納期とでは交換品の金額が異なるなど，相互に複雑に関連する大量の条件を考慮し，AI 機械学習 2 を併用する。そうすることで，プラント全体の利益を最大化する解を得る目的にも機械学習を適用することが可能である。

また，次のような場面を考えてみる。センサのデータを解析したところ，設備が数か月後に故障する確率が高いとの予測が得られた。定期修繕の予定は，予測された故障時期よりも後である。予め修理を行えば波及範囲は小さく，費用も少なくて済む。しかし，定期修繕以外のタイミングでプラントを停止する必要があり，損失が大きい。このように，相互に関連する複数の条件を考慮し，保全コストが最小となる解を提示することに機械学習は効果を発揮すると考えている。

さらに，上記の場面においては，生産時の運転条件を変更することにより，設備に対する負荷を低減することもできる。定期修繕までは故障が発生しないように運転条件を調整し，安定した操業を維持する。さらに，その間の生産高についても考慮することで，プラント全体の利益を最大化することにも寄与できる。このことは，プラントの制御から保全まで一貫して横河電機がサポートすることによるお客様への提供価値となり得る。従来，横河電機は計装システムベンダーと，MAC（Main Automation Constructor）の二つの立場でプラントの最適化に貢献してきた。今後，横河電機は制御レベルのオートメーションに留まらず，工場全体のオペレーション，さらにはあらゆるビジネスプロセスを企業全体最適の観点でオートメーション化するコンセプト「Synaptic Business Automation」[6] を提唱してお客様に貢献していく。

3. おわりに

本稿では AI と IIoT の技術動向や展望，さらに自社製品での技術活用について解説した。

Sushi Sensor は AI と IIoT の技術を使い，お客様の様々な要求に基づき，フレキシブルにカスタマバリューを実現し提供する製品である。横河電機はこの製品による価値提供に留まらず，プラント操業の最適化，さらには製造業における企業活動全体の最適化に至るまで，価値提供の領域を拡大したいと考えている。

参考文献

(1) 一般社団法人 人工知能学会，What's AI 人工知能の FAQ, https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/AIfaq.html
(2) 一般社団法人 人工知能学会，What's AI 人工知能の歴史, https://www.ai-gakkai.or.jp/whatsai/AIhistory.html
(3) David Silver, Julian Schrittwieser, et. al, "Mastering the game of Go without human knowledge," Nature, Vol. 550, 2017, pp. 354-359
(4) 経済産業省 商務流通保安グループ，"IoT・ビッグデータ等を活用した産業保安のスマート化"，http://www.meti.go.jp/committee/sankoushin/hoan/pdf/006_02_01.pdf
(5) 兒玉和俊，"CBM を実現する Sushi Sensor と機械学習の技術"，横河技報，Vol. 61，No. 1，p. 25-28
(6) 横河電機株式会社，Synaptic Business Automation：市場ニーズの変化に対応するオートメーションの次なる進化，https://www.yokogawa.co.jp/coin/solution/nov_2017/

* Sushi Sensor，Synaptic Business Automation は，横河電機株式会社の登録商標または商標です。
* LoRaWAN は，Semtech Corporation の商標です。
* その他，本文中の会社名 , 商品名および名称は , 各社の登録商標または商標です。